

Dinâmica Realista de Operações Simuladas: o conta gotas como objeto de aprendizagem na simulação computacional de eventos discretos¹

DROPS: an object of learning in computer simulation of discrete events

Hugo Alves Silva Ribeiro² – Universidade Federal de São Carlos – Departamento de Engenharia de Produção
Miguel Antônio Bueno da Costa³ – Universidade Federal de São Carlos – Departamento de Engenharia de Produção
João Alberto Camarotto⁴ – Universidade Federal de São Carlos – Departamento de Engenharia de Produção
Kleber Carlos Ribeiro Pinto⁵ – Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Gestão e Negócios

RESUMO Este trabalho apresenta a “Dinâmica Realista de Operações Simuladas” (DROPS), nome dado à dinâmica que utiliza o dispositivo “conta gotas” como objeto de ensino e aprendizagem. O intuito é mostrar alternativas para que os professores ensinem o conteúdo da disciplina Simulação de Eventos Discretos aos estudantes da graduação em Engenharia de Produção. O propósito é permitir que os discentes possam desenvolver habilidades de coleta de dados, criação de modelos, tratamento estatístico e interpretação de resultados. Essa dinâmica foi desenvolvida e aplicada aos estudantes, colocando-os em uma situação análoga a uma indústria real, onde foram abordados vários conceitos da simulação computacional permitindo, de forma interativa, a associação dos conceitos à prática e, portanto, facilitando o aprendizado.

Palavras-chave Simulação de sistemas. Objeto de aprendizagem. Ensino de engenharia de produção. Dinâmica de grupo.

ABSTRACT *This work presents the “Realistic Dynamics Of Simulated Operations” (DROPS), the name given to the dynamics using the “dropper” device as an object of teaching and learning. The objective is to present alternatives for professors teaching content related to simulation of discrete events to graduate students in production engineering. The aim is to enable students to develop skills related to data collection, modeling, statistical analysis, and interpretation of results. This dynamic has been developed and applied to the students by placing them in a situation analogous to a real industry, where various concepts related to computer simulation were discussed, allowing the students to put these concepts into practice in an interactive manner, thus facilitating learning.*

Keywords *System simulation. Object of learning. Industrial engineering education. Group dynamics.*

1. Artigo premiado no XXI SIMPEP e avaliado na modalidade *fast track* pela Revista GEPROS.
2. Rodovia Washington Luís, Km 235, CEP: 13565-905, São Carlos/SP, hugoalves.ribeiro@yahoo.com.br
3. mbcosta@ufscar.br
4. camarotto@dep.ufscar.br
5. kleber@ufu.br

RIBEIRO, H. A. S.; COSTA, M. A. B.; CAMAROTTO, J. A.; PINTO, K. C. R. Dinâmica Realista de Operações Simuladas: o conta gotas como objeto de aprendizagem na simulação computacional de eventos discretos. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 10, nº 3, jul-set/2015, p. 97-111.

DOI: 10.15675/gepros.v10i3.1295

1. INTRODUÇÃO

A Dinâmica Realista de Operações Simuladas (DROpS) é uma atividade acadêmica desenvolvida para a prática de disciplinas relacionadas à Simulação de Eventos Discretos (SED), presente nos cursos de Engenharia de Produção. Durante a DROpS o aluno é inserido no ambiente hipotético de uma linha de montagem sendo encorajado a estudar alternativas para a melhoria do processo produtivo por meio da simulação computacional.

São objetivos da DROpS: desenvolver nos discentes a capacidade de compreender o problema que necessita ser simulado, criar modelos representativos, coletar e processar os dados, analisar os resultados e apresentar soluções. Essa dinâmica visa o desenvolvimento de habilidades dos estudantes para observar os fenômenos reais, discuti-los em grupo, cronometrar tempos, tabular os dados, aplicar os conceitos da SED e fazer o tratamento estatístico dos dados com o *software* ARENA (Rockwell Automation, 2015).

A DROpS foi aplicada em 2013 em três turmas do curso de graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos. O objeto de aprendizagem utilizado na dinâmica foi o dispositivo “conta-gotas”, que, montado em sala de aula, se constituiu no produto análogo ao de uma linha de produção.

Este trabalho se constitui nessa introdução e em outras quatro partes. A segunda apresenta uma breve revisão bibliográfica sobre os processos de ensino-aprendizagem dos cursos de Engenharia de Produção, demonstrando a necessidade de buscar novas formas para melhorar o desempenho do ensino. A terceira apresenta os conceitos de Simulação de Eventos Discretos, a dinâmica proposta (DROpS) e a sua aplicação. A quarta parte apresenta os resultados obtidos e a última expõe as considerações finais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O ensino-aprendizagem na engenharia de produção

Grandes problemas enfrentados por empresas são oriundos de lapsos acadêmicos sofridos pelo então estudante que se tornou trabalhador (FERNANDES, 1999). Isso faz com que a falha no processo de ensino-aprendizagem prejudique, não apenas o desenvolvimento acadêmico dos alunos, mas também seu posterior desempenho profissional.

Corrêa (2002) aponta que vários alunos de graduação em Engenharia de Produção se deparam, quando estagiários, com a necessidade de realizar simulação computacional no ambiente de trabalho. O ensino obtido em sala de aula, às vezes superficial, exige que o discente recorra à Universidade para garantir resultados às empresas. Esse fato faz com que seja necessário buscar métodos de ensino que estimulem a criatividade do aluno (HENRIQUE; CUNHA, 2008).

Segundo Belhot *et al.* (2001), uma alternativa para melhorar o processo de aprendizagem é utilizar métodos didáticos capazes de estimular a memorização do aluno. Para isso, é possível associar a teoria à prática e promover a solução de problemas de forma interativa (BELHOT *et al.*, 2001). Tubino e Schafranski (2000) sugerem o uso da dinâmica de grupo, garantido que ela auxilia o participante a avaliar de forma empírica o impacto de suas decisões.

Com o intuito de produzir dinâmicas e experiências de aprendizagem, Hodgins e Conner (2000) auxiliaram no desenvolvimento da metáfora do LEGO⁶, em que cada bloco de montagem é comparado a um objeto de aprendizagem, podendo ser agrupado e reagrupado, permitindo o aperfeiçoamento da criatividade do participante. Utilizando dessa estratégia didática, no campo da Engenharia de Produção, Giustina *et al.* (2012) e Pinho *et al.* (2005) empregam o LEGO na simulação de linhas de montagem com o intuito de apresentarem os conceitos de produção enxuta aos alunos.

No âmbito da Simulação de Sistemas, Pinho *et al.* (2009) utilizaram o LEGO em uma dinâmica batizada de SIMBA (Simulação com Bloquinhos Animados). Nela, após o grupo de estudantes realizar a montagem do produto final, os discentes foram convidados a analisar e desenvolver a modelagem computacional do processo produtivo. Finalmente, o modelo foi simulado no *software* ProModel (Belge, 2015) com o propósito de avaliar cenários e resultados.

O objeto de aprendizagem pode variar conforme o interesse e a disponibilidade de recursos de cada instituição. Althoff (2009), por exemplo, utiliza canetas azul, preta e vermelha como objeto de aprendizagem. Tal autor elabora uma dinâmica em que o participante é inserido no contexto de uma fábrica e deva simular cenários operacionais com foco em melhoria de resultados financeiros.

Ribeiro e Mizukami (2004) denominam os modelos dinâmicos de aprendizagem baseada em problemas como PBL (*Problem Based Learning*), e concluem que eles devem ser utilizados para motivar, focar e iniciar a aprendizagem em um ambiente acadêmico. Segundo os autores, embora os alunos avaliem positivamente a metodologia, por promoverem habilidades interpessoais, adaptabilidade, autonomia e colaboração, ela é extremamente trabalhosa para o docente.

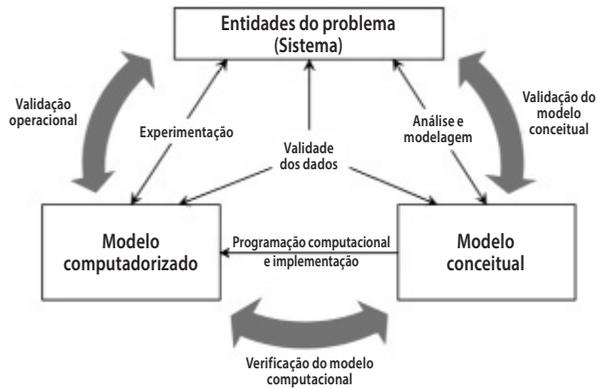
A obra de Motta *et al.* (2012) apresenta uma pesquisa com 72 alunos e comprova que os modelos dinâmicos auxiliam na absorção do conhecimento, incentivam a tomada de decisão por parte dos alunos, desenvolvem habilidades interpessoais para o trabalho de equipe e geram melhor assimilação do conteúdo quando comparado aos métodos convencionais. Esse e os demais trabalhos aqui apresentados apontam que alternativas didáticas auxiliam o processo de ensino-aprendizagem no ambiente acadêmico, preocupação presente nesse artigo.

3. SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS E A DROPS

Na literatura, Sargent (2008) apresenta uma visão simplificada do processo de simulação, inserindo claramente as diferenças entre Validação Computacional, Validação Operacional e Verificação Computacional. Essa representação indica como os dados podem ser validados e como seriam realizadas as experimentações, análises/modelagens e programações do modelo (Figura 1).

6 LEGO é um brinquedo infantil composto de peças para encaixar (blocos de montagem), que desperta a criatividade da criança, ou pré-adolescente, para a criação de novas estruturas.

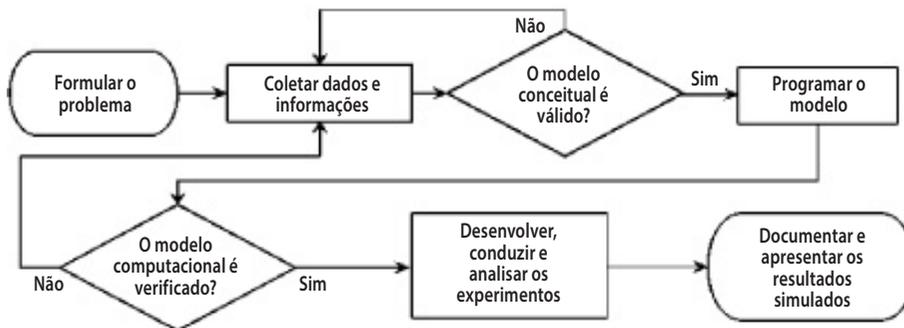
Figura 1 – Versão simplificada do processo de modelagem.



Fonte: Sargent (2008).

A SED exige, conforme Law (2006), sete etapas principais: (1) formulação do problema, (2) coleta de dados, (3) validação do modelo conceitual, (4) programação do modelo, (5) verificação do modelo computacional, (6) desenvolvimento, condução e análise dos experimentos, e (7) apresentação de resultados. A Figura 2 apresenta essa abordagem de condução da simulação no fluxograma.

Figura 2 – Abordagem da condução de uma simulação por meio das sete etapas.



Fonte: Adaptado de Law (2006).

Os conceitos sobre Simulação foram apresentados durante a aplicação da DROpS, bem como as teorias acerca da modelagem conceitual e computacional, com destaque para a credibilidade do modelo, a validação e a verificação. Durante a dinâmica, três etapas foram destacadas: (1) Modelo Conceitual, (2) Coleta de Dados e (3) Modelo Computacional.

A dinâmica utilizou o “conta gotas” como objeto de aprendizagem. Esse dispositivo foi escolhido por ser reaproveitável, de fácil montagem, desmontagem e armazenamento, bem como por possuir baixo custo de aquisição. Para relacionar o produto montado à dinâmica, criou-se a empresa fictícia “Olho Vivo Ltda.,” que envasa e distribui o “Colírio Boa Vista” conforme apresenta a Figura 3.

Figura 3 – Colírio Boa Vista montado.



Fonte: Elaborado pelos autores.

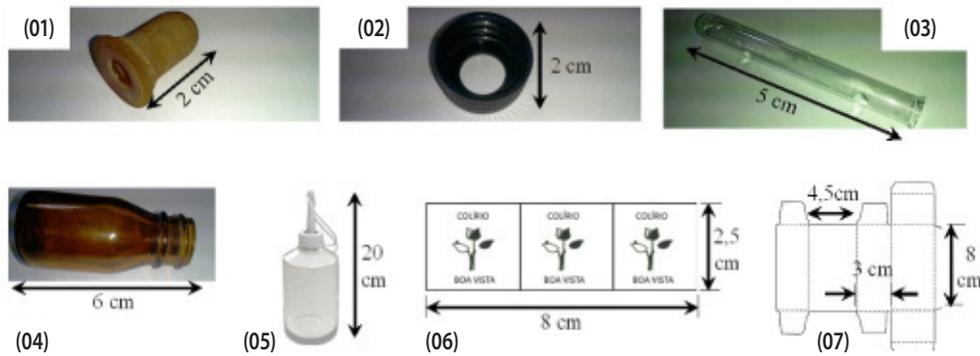
O objeto de aprendizagem é composto por um frasco, uma ponteira, uma tampa rosqueada e um tubo de conta-gotas. Para o envase, foi utilizada água (armazenada em uma almotolia/bisnaga). Como acabamento foi desenvolvido um rótulo e, para a embalagem, utilizou-se cartolina. Assim, para a montagem de uma unidade do “Colírio Boa Vista”, os alunos precisaram, além dos componentes detalhados na Tabela 1 e uma cola do tipo bastão.

Tabela 1 – Componentes utilizados na dinâmica.

Código	Nome do Componente	Material	Unid/prod.
01	Ponteira	Borracha(20 mm x 5 mm)	1
02	Tampa rosqueada	Plástico(10 mm x Ø 20 mm)	1
03	Tubo do Conta-gotas	Vidro(50 mm x Ø 5 mm)	1
04	Frasco	Vidro(60 mm x Ø 20 mm)	1
05	Líquido	HXT 25, PPHT, H2O	14 cm ³
06	Rótulo	Papel	1
07	Embalagem	Cartolina	1

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 4 – Componentes utilizados para a realização da DROpS.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os discentes participantes da DROpS estavam no sexto período do curso de graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos. A dinâmica foi aplicada em três turmas da disciplina de Simulação de Sistemas. Cada turma, com aproximadamente 36 alunos, foi dividida em quatro grupos com, no máximo, nove alunos. O ambiente escolhido para a DROpS (Figura 5) possuía mesas amplas e computadores dotados de *software* de simulação.

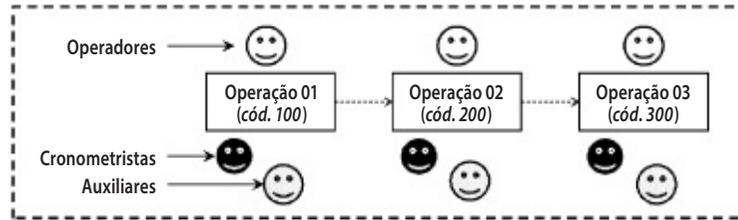
Figura 5 – Sala de aula: local de realização da DROpS.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Antes do início da dinâmica foi necessário preparar a matéria prima e disponibilizá-la na mesa para cada grupo. Foi adotado o *layout* linear com três operadores e três cronometristas por grupo. Para cada cronometrista foi alocado um auxiliar com a função de anotar os tempos de cada operação em uma tabela. Na falta de participantes, um auxiliar foi alocado para dois cronometristas. A Figura 6 representa a disposição dos nove participantes no grupo.

Figura 6 – Composição de cada grupo da dinâmica.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A matéria prima necessária para cada uma das três operações foi disponibilizada aos respectivos operadores em recipientes distintos. A equipe era livre para preparar seu ambiente de trabalho. A Figura 7 mostra um dos grupos que reordenou os componentes sobre a mesa, sem utilizar os recipientes. Outros grupos fizeram preparações diferentes.

Figura 7 – Disposição dos componentes definida por um dos grupos.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Foi realizado o cálculo da quantidade necessária de matéria prima a ser disponibilizada para cada grupo, a fim de que ela fosse suficiente para produzir os produtos ao longo do período disponível. O propósito foi evitar que a falta dos componentes se tornasse o gargalo do processo. Para cinco minutos de montagem, 36 unidades por grupo deveriam ser produzidas.

As atividades foram previamente apresentadas aos discentes no formato da Tabela 2 e cada um dos operadores ficou responsável por determinada atividade do processo de montagem do produto. O primeiro operador realizou a submontagem de código 100, o segundo, a de código 200 e, o último, concluiu o produto final – de código 300.

Tabela 2 – Descrição das atividades de cada operação.

100) SUBMONTAGEM		
Subconjunto (COD. 100): conta-gotas peso x 100 = 1 kg.		
Componentes(COD): 01, 02, 03unid/conj = 1		
Operação	Detalhamento	Equipamento
101	Encaixar 01 em 02	Bancada
102	Encaixar 03 em 101	Bancada
103	Verificar submontagem conj. 102	Bancada
	(encaixes 01 em 02 e 03 em 101)	
200) SUBMONTAGEM		
Subconjunto(COD. 200): frasco com colírio peso x 100 = 5 kg.		
Componentes(COD): 04, 05, 100 unid/conj = 1		
Operação	Detalhamento	Equipamento
201	Acondicionar líquido (05) no frasco (04)	Injetor (usar almotolia/bisnaga)
202	Verificação do nível (próximo à marca no gargalo)	Bancada
203	Rosquear 100 em 201	Bancada
300) MONTAGEM FINAL (COD. 300) - Colírio BOA VISTA peso x 100 = 6 kg.		
Componentes(COD): 200, 06, 07unid/conj = 1		
Operação	Detalhamento	Equipamento
301	Dobrar 07 e colar	Bancada (usar cola branca)
302	Colar uma unidade de 06 em 200	Bancada (usar cola branca)
303	Embalar uma unidade de 301 em 07	Bancada

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os alunos foram alertados quanto às duas primeiras partes da operação 200 – a de nº 201 (acondicionamento do líquido), e a de nº 202 (verificação do nível) uma vez que, ao envasar o “colírio”, qualquer erro de previsão de volume, poderia causar falta ou transbordo do líquido. Como fruto de cada uma das operações foram obtidos os subconjuntos de código 100, 200 e 300 representados na Figura 8.

Figura 8 – Submontagens de cada operação e do produto final.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Após as explicações iniciais, foram apresentados os conceitos teóricos de Simulação de Sistemas bem como a teoria da cronoanálise, relembando que anomalias no processo devem ser relatadas (por exemplo, se uma operação levar mais tempo do que o normal, os motivos aparentes devem ser descritos pelo auxiliar). Além disto, os discentes foram informados acerca da importância do consenso metodológico de cronometragem, isto é, como e quando as tomadas de tempo devem ser iniciadas e finalizadas. Após essa prévia, os grupos foram liberados para decidirem seus procedimentos de cronometragem sem a influência do coordenador da dinâmica.

Nesta etapa surgiram questionamentos do tipo: “como cronometrar uma atividade?”, “quem cronometrará o quê?” e “os dados coletados funcionarão, ou não, no *software* de simulação?”. Essa discussão demandou alguns minutos. Posteriormente, os grupos foram orientados a anotar todos os tempos de cada operação para todos os produtos finais. Adicionalmente foi solicitado que eles anotassem observações pertinentes acerca do andamento do processo produtivo, tais como: número de produtos em processamento, total de “colírios” produzidos e a justificativa para as anomalias de tempos. Esse período inicial de interação dos participantes teve duração média de 20 minutos. Somente a partir daí que o início da montagem dos conta gotas foi autorizado por um período de cinco minutos.

Após as montagens, parte da equipe ficou responsável por transcrever os resultados obtidos em uma planilha eletrônica, enquanto a outra parte definiu o modelo conceitual da operação. Nesse momento foi importante a sinergia dos operadores com o grupo, pois eles auxiliaram no detalhamento do modelo conceitual apresentando as informações mais relevantes para a descrição das operações. Foi adotada a técnica de elaboração de fluxogramas para o mapeamento do processo, base para o uso do *software* de simulação.

O processamento dos dados foi uma etapa muito importante. Os alunos necessitaram de instruções para o tratamento estatístico dos dados anotados. Com o propósito de instigar o raciocínio dos discentes, foi preparado um material composto por seis questões intercaladas em pares (duas a duas), iniciando por: 1ª) o número de dados coletados é confiável (representativo)?; 2ª) Caso não seja, o que isto significa?

O material de apoio oferecido aos estudantes apresentou o tratamento estatístico referente ao número de ciclos a serem cronometrados, quando há uma distribuição Normal com 95% de confiança e 5% de erro, apresentado na Equação (1), conforme indica a obra de Silva e Coimbra (1980):

Em estudos de tempos são geralmente usados o nível de confiança de 95% e um erro relativo de $\pm 5\%$. Isto significa que, com 95% de probabilidade, a média dos valores observados para o elemento não diferirá por mais de $\pm 5\%$ do valor verdadeiro para a duração do elemento (SILVA; COIMBRA, 1980, p. 110).

$$N' = \left(\frac{40 \cdot \sqrt{N \cdot \sum_{x=1}^N x^2 - \left(N \cdot \sum_{x=1}^N x \right)^2}}{\sum_{x=1}^N x} \right)^2 \quad (1)$$

Onde:

- N' é o número ciclos a serem cronometrados para um erro relativo de $\pm 5\%$ e 95% de confiança;
- N é o número de observações já realizadas do elemento;
- x é a leitura do cronômetro ou observação individual.

Se N' for menor que N , a amostra é suficiente, entretanto, se N' for maior que N , é necessária a realização de mais tomadas de tempo (SILVA; COIMBRA, 1980).

Para responder a segunda pergunta, supondo que uma nova coleta de dados não seja possível de ser realizada e a população original é Normalmente distribuída, deve-se calcular o intervalo de confiança para os dados até então obtidos e apresenta-los na forma de intervalo. Quando se deseja gerar valores mais extremos que uma simulação da Normal, utiliza-se a distribuição t de Student que depende do tamanho da amostra. Para a curva de distribuição t de Student a semi-amplitude do intervalo de confiança e é dada pela Equação 2:

$$e = t_{n-1; \alpha/2} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

Onde:

- n é o número de dados da amostra;
- s é o desvio padrão da amostra;
- $t_{n-1; \alpha/2}$ é o numero de desvios padrão para a distribuição t (Student) para $(n-1)$ elementos amostrais em um grau de confiança $(\alpha/2)$.

Foi proposto para o cálculo da semi-amplitude, um intervalo de confiança de 95% considerando uma amostra de 10 dados, pois neste caso o valor tabelado para t equipara à Equação 3:

$$t_{10-1; 0,05/2} = 2,26 \quad (3)$$

Respondida as perguntas iniciais os alunos foram instigados novamente com outras duas perguntas: (3ª) existem tempos atípicos (anomalias ou *Outliers*)? (4ª) Caso afirmativo, como eles devem ser trabalhados?

Para auxiliar os alunos na resolução do terceiro questionamento, recomendou-se o uso da ferramenta *Box-Plot* do *software* ARENA, ou o próprio Excel. Para o último caso citou-se o trabalho de Magalhães e Lima (2001) que ordena os dados em uma tabela e encontra os valores do 1º ($Q1$) e do 3º ($Q3$) quartil. Na planilha eletrônica Excel o recurso usado é “QUARTIL(matriz; nº do quartil)”. Segundo os autores, deve-se calcular a diferença do 3º e do 1º quartil, sendo esta considerada o “Intervalo Interquartil (IC)”, representada pela Equação 4:

$$IC = Q3 - Q1 \quad (4)$$

São consideradas anomalias os valores que extrapolam os extremos apresentados pelas Equação 5 e 6. As razões mais comuns para o surgimento desses valores são os erros na coleta de dados ou eventos raros e inesperados, portanto, fora da normalidade.

$$Valor < Q1 - 1,5 \cdot IC \quad (5)$$

$$Valor > Q3 + 1,5 \cdot IC \quad (6)$$

A resposta ao quarto questionamento ficou livre para a decisão dos discentes.

As últimas duas perguntas desta etapa foram: (5ª) Quais os tempos necessários para cada operação? (6ª) Em qual curva probabilística eles se enquadrariam melhor?

Para responder a quinta questão os alunos foram incentivados a analisar as médias dos dados obtidos, bem como o desvio padrão de cada um deles. Para auxiliar na última questão, recomendou-se aos discentes a utilização da ferramenta *input analyzer*, disponível no *software* ARENA. Nesse contexto, foi necessário explicar a teoria dos quatro testes estatísticos realizados pela ferramenta: erro quadrático, qui-quadrado (χ^2), *Kolmogorov-Smirnov* (K-S) e *P-Value*. Os discentes foram instruídos a utilizar a melhor distribuição mediante a análise dos resultados dos testes de aderência. Para auxiliar nessa questão citou-se Freitas Filho (2008), que considera a distribuição satisfatória quando o *p-value* do teste K-S (ou, dependendo da situação, do teste χ^2) é superior a 0,10. O autor também traz que a melhor aproximação da distribuição teórica ocorre quando o erro quadrático é mais próximo de zero. Lembrou-se também que, dependendo do tamanho das amostras, nem todos os quatro testes estatísticos são realizados.

Ao fim dessa fase da DROPS, cada atividade possuía uma distribuição à ela associada. Sendo assim, os alunos inseriram as expressões das distribuições dentro de cada etapa do fluxograma do processo. Com essa tarefa, o modelo conceitual foi concluído. A próxima etapa promoveu o desenvolvimento do modelo computacional.

Para isso, os alunos inseriram os dados de entrada na linguagem do ARENA, sendo que a criação dos módulos do *software* dependia do interesse de cada grupo e do grau de detalhamento do modelo. Os discentes foram instruídos a criar uma variável que contabilizasse o total de produtos produzidos e, posteriormente, foram solicitados a simular no *software* ARENA por 5 minutos com 10 réplicas. Isso permitiu a comparação entre o total de número de produtos oferecidos pelo sistema real e pelo sistema simulado. Foi informado que este método pode não ser suficiente para a validação do modelo, porém, é uma forma simples para identificar possíveis falhas na modelagem computacional. Demais formas de validação operacional foram apresentadas e discutidas com as equipes.

Posteriormente, os estudantes foram solicitados a simular a linha de montagem por 8 horas, identificando a quantidade de conta gotas produzidos nesse intervalo de tempo. Ressalta-se que a versão “Estudante” do ARENA foi suficiente para a dinâmica até antes desse momento, porém, para a simulação ao longo de 8 horas, foi exigida a versão “Completa” do *software* devido ao excesso de número de entidades.

Os alunos também foram instruídos relatar a quantidade estimada de produtos considerando o erro para o período. Para isso foi utilizada a distribuição *t* de *Student* com confiança de 95% e amostra de 10 dados ($t_{n-1,\alpha/2}=2,26$), conforme apresenta a equação 7 (SILVA; COIMBRA, 1980; STEVENSON, 2001; KAZMIER, 1982).

$$Q_{estimada_consid_erro} = x \pm e = x \pm t_{n-1,\alpha/2} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

Onde:

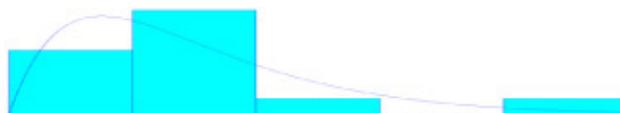
- x é a quantidade média de itens produzidos nas réplicas;
- n é o número de dados da amostra;
- s é o desvio padrão da amostra (réplicas);
- $t_{n-1,\alpha/2}$ é a distribuição *t* (*Student*) para $(n-1)$ elementos amostrais em um grau de confiança $(\alpha/2)$.

Por último, cada equipe foi orientada a definir, baseado no relatório da simulação apresentado pelo *software*, qual a operação é considerada “gargalo”, a porcentagem de bloqueio dos estágios de trabalho e as propostas de melhorias. A dinâmica levou aproximadamente três horas para ser concluída pelos alunos.

4. RESULTADOS

Como desfecho a DROPS proporcionou resultados variados entre as equipes. Para um dos grupos, na primeira operação foram cronometradas 25 unidades do “colírio”, ou seja, 25 dados, obtendo a média de 11,65 segundos e desvio padrão de 1,92. Para a segunda operação foram cronometradas outras 25 unidades, obtendo a média de 11,87 segundos e desvio padrão de 1,78. Para a última operação foram obtidas 10 unidades com a média de 26,47 segundos e desvio padrão de 4,11. Utilizando a Equação (1) chegou-se à necessidade de coletar 42 dados para a primeira operação, mas, como dito, apenas 25 dados foram obtidos. Essa defasagem de dados fez com que, segundo “*input analyzer*”, a distribuição probabilística fosse aproximada a Erlang “9+ERLA (1.33,2)” com o erro quadrático de 0,0438 (Figura 9).

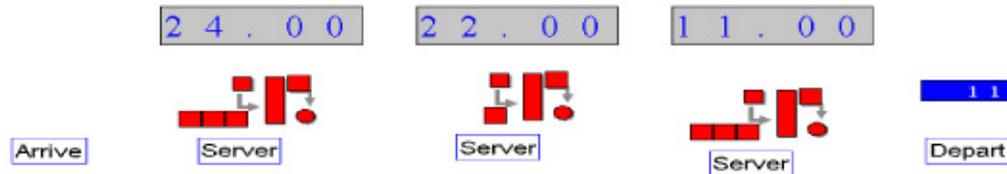
Figura 9 – Distribuição probabilística para a primeira operação de uma das equipes.



Fonte: Relatório fornecido pela ferramenta “*Input Analyzer*”.

Ao utilizar a curva Erlang sugerida pelo pacote computacional, os resultados eram incompatíveis com a realidade. Os alunos identificaram isto e relataram a anomalia afirmando que “não tinham dados suficientes”. Por iniciativa própria, eles inseriram no *software* uma suposta aproximação à distribuição Normal de média e desvio padrão equivalente aos valores encontrados para aquela operação, ou seja, “N(11.65,1.92)”. O resultado foi que, enquanto no ambiente real, em cinco minutos, foram produzidos 10 “colírios”, no ambiente simulado, para o mesmo período foram produzidos 11 “colírios” (Figura 10).

Figura 10 – Imagem final da simulação de um dos grupos que produziu 11 “colírios”.



Fonte: Imagem gerada pelo *software* ARENA.

Este exemplo serviu para que os alunos da equipe percebessem a importância de trabalhar com dados representativos. Outras equipes chegaram a resultados de simulação com valores exatamente iguais aos produzidos no sistema real. Isso permitiu que os discentes propusessem melhorias na linha de produção por meio da análise dos resultados dos cenários simulados, inserindo novos operadores ou buscando o nivelamento da linha de produção.

A variabilidade nos resultados das equipes foi avaliada como positiva, pois os participantes tiveram contato com diversas ocorrências possíveis. Por exemplo, enquanto um grupo conseguiu, em cinco minutos, concluir a montagem de 12 unidades de “colírios”, outro grupo concluiu apenas quatro unidades. Para algumas equipes, a primeira operação gerou mais de 30 dados, pois decidiram pela produção para estoque, enquanto outras optaram por produção “puxada” reduzindo o estoque em processamento. Com isso, algumas equipes conseguiram dados representativos, enquanto outras não, mas todas conseguiram visualizar, através da DROpS, a importância de uma boa coleta de dados.

Por fim os alunos foram questionados sobre as dificuldades na cronometragem e na obtenção das diversas informações utilizadas. Como resposta, a maioria indicou objeção no tratamento de dados e na análise dos resultados. Posteriormente, os discentes foram alertados acerca da simplicidade em que o ambiente da DROpS está submetido, e que em um ambiente real, a coleta de dados pode ser muito mais difícil dependendo das condições em que o pesquisador estiver submetido. Sendo assim, a DROpS serviu de experiência, aprendizado e preparação para o futuro de cada um de seus participantes, alguns em maior, outros em menor intensidade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A DROPS cumpriu o seu objetivo, mostrando-se adequada ao ensino de “Simulação de Sistemas” para o curso de Engenharia de Produção. A sua aplicação desenvolveu nos discentes as habilidades de coleta de dados, criação de modelos e interpretação de resultados por meio de um ambiente prático. Ela possui caráter interdisciplinar, pois abrange projetos de simulação, técnicas de racionalização e cronoanálise, controle de estoques intermediários, técnicas de fluxograma, estatística, tomada de decisões e observações de sistemas em equipe.

A dinâmica foi aprovada pelos discentes por meio de manifestação verbal. Eles sugeriram melhorias quanto ao cálculo do “tempo de produção”, inserindo a teoria do “tempo padrão” considerando, por exemplo, fatores de fadiga. Enfim, embora a dinâmica demande tempo de estudo e carga de trabalho para os professores, o seu resultado final é gratificante, pois concilia o aprendizado com a satisfação dos alunos.

REFERÊNCIAS

ALTHOFF, T.; COLZANI, T. A.; SEIBEL, S. A dinâmica da montadora de canetas - uma simulação baseada em jogos de empresas no ensino da Engenharia de Produção. *In: XXIX ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2009, Salvador. Anais...*, Salvador, 2009.

BELGE Consultoria. **ProModel**. Disponível em: <<http://www.belge.com.br/promodel.php>>. Acesso em 06.mar.2015.

BELHOT, R. V.; FIGUEIREDO, R. S.; MALAVÉ, C. O. O uso de simulação no ensino de engenharia. *In: XXIX COBENGE – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2001, Porto Alegre. Anais...*, Porto Alegre, 2001.

CORRÊA, S. M. A simulação em monografias de graduação da engenharia de produção. *In: XXII ENEGEP- Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2002, Blumenau. Anais...*, Blumenau, 2002.

FERNANDES, F. C. F. A pesquisa em gestão da produção: evolução e tendências. *In: XIX ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 1999, Rio de Janeiro. Anais...*, Rio de Janeiro, 1999.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicação em Arena**. Florianópolis: Visual Books, 2008.

GIUSTINA, A. D.; TREBESQUIM, A.; CAVALLI, D.; SECCO, T. H.; POSSAN, E. Avaliação e comparação dos tempos de uma linha de montagem de produção com o auxílio de jogos didáticos. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, v.1, n. 5, 2012.

HENRIQUE, D. C.; CUNHA, S. K. Práticas didático-pedagógicas no ensino de empreendedorismo em cursos de graduação e pós-graduação nacionais e internacionais. **Revista de Administração Mackenzie**, v. 9, n. 5, p. 112- 136, 2008.

HODGINS, W.; CONNER, M. Everything you wanted to know about learning objects but were afraid to ask. **LineZine**, Vienna, p.1-7, Fall, 2000.

KAZMIER, L. J. **Estatística Aplicada a Economia e Administração**. São Paulo: McGraw-Hill, 1982.

LAW, A. M. How to build valid and credible simulation models. **Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference**, 58-66, Monterey, 2006.

MAGALHÃES, M. N.; LIMA, A. C. P. **Noções de Probabilidade e Estatística**. São Paulo: IME-USP, 2001.

MOTTA, G. S.; MELO, D. R. A.; PAIXÃO, R. B. O jogo de empresas no processo de aprendizagem em administração: o discurso coletivo de alunos. **Revista de Administração Contemporânea**. Rio de Janeiro, v. 16, n. 3, p 342-359, 2012.

PINHO, A. F.; LEAL, F.; ALMEIDA, D. A. Utilização de bloquinhos de montagem LEGO® para o ensino dos conceitos do Sistema Toyota de Produção. *In: XXV ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2005. Porto Alegre. **Anais...**, Porto Alegre, 2005.

PINHO, A. F.; LEAL, F. MONTEVECHI, J. A. B.; COSTA, R. F. S. Utilização de LEGO® para o ensino dos conceitos sobre simulação computacional a eventos discretos. *In: XXIX ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2009. Salvador. **Anais...**, Salvador, 2009.

ROCKWELL AUTOMATION. **ARENA Simulation Software**. Disponível em: <<https://www.arenasimulation.com/>>. Acesso em: 06.Mar.2015.

RIBEIRO, L. R. C.; MIZUKAMI, M. G. N. Uma Implementação da Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) na Pós-Graduação em Engenharia sob a Ótica dos Alunos. *In: Semana de Ciências Sociais e Humanas*, 2004. Londrina. **Anais...**, Londrina, v. 25, p. 89-102, 2004.

SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. *In: Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*. Miami, FL, 157-169, 2008.

SILVA, A. V.; COIMBRA, R. R.C. **Manual de Tempos e Métodos**. São Paulo: Hemus, 1980.

STEVENSON, W. J. **Estatística Aplicada à Administração**. São Paulo: Harbra, 2001.

TUBINO, D.; SCHAFRANSKI, L. E. Simulação Empresarial em Gestão da Produção. **Manual de Simulação**. Universidade Federal de Santa Catarina. 2000.

